

УДК 004.942

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ
ДВИЖЕНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИА. В. БОБРЯКОВ¹, С. А. ПРОКОПЕНКО², С. К. КРУТОЛЕВИЧ²¹Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Москва, Россия

²Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Маршруты движения коммунальной техники (мусоровозов, снегоочистителей, поливомоечных машин, тракторов и т. д.) включают участки дорог различных категорий (узкие улицы, шоссе, проспекты, дворы и т. д.), вследствие чего выбор оптимального маршрута является нетривиальной задачей, т. к. при его выборе необходимо учитывать, кроме протяжённости, грузоподъемности, расхода топлива, еще и другие факторы – маневренность, скоростной режим, пору года, текущие погодные условия, загруженность и т. д. Оптимальные маршруты движения коммунальной техники позволяют снизить количество используемых ресурсов (топливо, реагенты и т. д.), уменьшить количество вредных выбросов и жалоб от граждан, повысить эффективность работы других сфер жизнедеятельности граждан (общественный транспорт, логистика, грузоперевозки, социальная сфера, здравоохранение) и т. д.

Разработка автоматизированного подхода формирования маршрута должна учитывать следующие особенности:

- класс используемой техники. Применение тяжелого самосвала при обработке дворовых территорий позволяет сократить количество дополнительных загрузок, но повышает риск возникновения аварийных ситуаций, связанный с низкой маневренностью при движении в заполненных автомобилями дворах;
- топливные характеристики используемой техники (расход топлива, тип топлива, объем топливного бака);
- интервал посещений. К примеру, мусоровозы, в зависимости от категории мусоросборных площадок, должны регулярно их объезжать;
- пиковые часы. Движение коммунальной техники в часы пик повышает риск возникновения дорожно-транспортных происшествий, в результате которого техника может потребовать незапланированного ремонта;
- неоптимальное использование техники, вызванное большим количеством циклов «пуск/остановка», а также необоснованная работа в режиме «холостого хода» приводит к необходимости проведения обслуживания раньше планируемого срока;
- износ техники и интервалы технического обслуживания. Коммунальная техника должна регулярно проходить техническое обслуживание в соответст-

вии с рекомендациями производителя.

Существующие классические алгоритмы поиска кратчайшего пути (А*-star, алгоритм Дейкстры и его модификации, алгоритм Беллмана – Форда и т. д.) показывают хорошие результаты при формировании маршрутов движения различных классов техники, но при введении дополнительных условий и ограничений (введение нового класса техники, дополнительные маршруты, дополнительные точки и т. д.) могут потребовать значительных модификаций.

Одним из подходов для учета особенностей построения маршрутов движения коммунальной техники является использование сетей Петри, которые позволяют:

- моделировать дискретные события. К примеру, для движения мусоровоза (забор мусора, остановки, загрузка и выгрузка), что дает возможность отображать сложные взаимодействия между различными элементами системы;
- визуализировать процессы. Графическое представление процессов облегчает понимание структуры и динамики маршрутов;
- учитывать ресурсы различного характера (топливо, время, объем, масса и т. д.);
- проводить анализ производительности, используя развитый математический аппарат;
- быстрее вносить изменения по сравнению с классическими подходами.

Сеть Петри для формирования движения коммунальной техники в общем в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$PN_{kt} = (P, T, I, O, C, \alpha, B, R, Pl, m_0),$$

где P, T, I, O, C, m_0 – классические элементы сети Петри; α – вектор значений порогов срабатывания переходов, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{nc}\}$; B – множество ограничений, $B = \{B_1, B_2, \dots, B_{nb}\}$; R – конечное непустое множество ресурсов (техника, вспомогательное оборудование и т. д.), необходимых для осуществления движения, $R = \{R_1, R_2, \dots, R_{nr}\}$; Pl – план, состоящий из множества путей, вершин, которые необходимо посетить.

Применение описанного подхода позволяет повысить эффективность использования коммунальной техники:

- путем снижения общего времени работы техники в режиме «холостого хода», а также уменьшения количества циклов «пуск/остановка»;
- за счет снижения общего пробега;
- за счет снижения количества невыполненных в срок контрактов (вывоз мусора, уборка дорог и т. д.);
- за счет уменьшения количества неиспользуемых ресурсов и компонентов.